

Apparatus for measuring rotation

Patent number: EP0810418
Publication date: 1997-12-03
Inventor: JEANROY ALAIN (FR); RENAULT ALAIN (FR); BIENAIME FRANCIS (FR)
Applicant: SAGEM (FR)
Classification:
- international: G01C19/56
- european: G01C19/56P2
Application number: EP19970401149 19970526
Priority number(s): FR19960006618 19960529

Also published as:

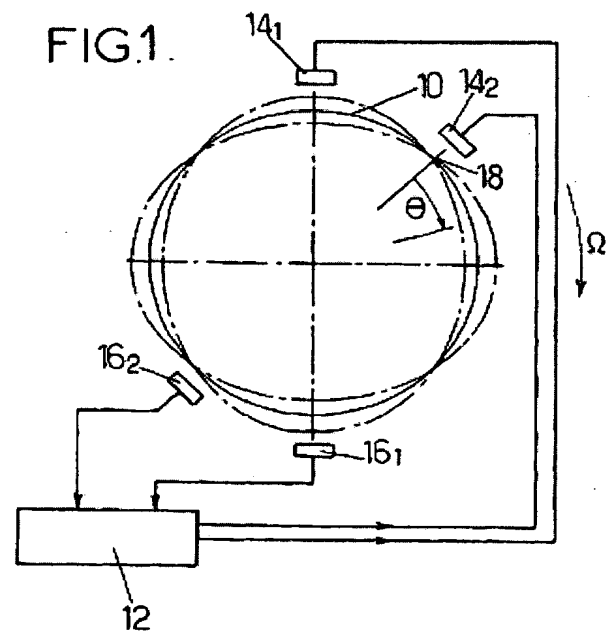
FR2749394 (A1)
EP0810418 (B1)

Cited documents:

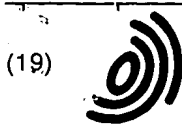
US3992952
US4079630
EP0592171

Abstract of EP0810418

The device sets in vibration two sensors (161, 162) of radial elongation of the mechanical resonator (10) in the directions of application of forces by transducers (141, 142) with angular spacing of 45 degrees. The sensors provide signals modulated at the vibrational frequency to an electronic circuit (12) which drives the transducers to sustain the vibration at constant amplitude. The time-quadrature component of the vibration is cancelled and the drive to the transducers contains a precession control component. An error is calculated from knowledge of this control and measurement of the rate of rotation of the resultant vibrational field.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 0 810 418 A1**

(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
03.12.1997 Bulletin 1997/49

(51) Int Cl.⁶: **G01C 19/56**

(21) Numéro de dépôt: **97401149.6**

(22) Date de dépôt: **26.05.1997**

(84) Etats contractants désignés:
DE FR GB

(30) Priorité: **29.05.1996 FR 9606618**

(71) Demandeur: **SAGEM S.A.**
75016 Paris (FR)

(72) Inventeurs:
• **Jeanroy, Alain**
78500 Sartrouville (FR)

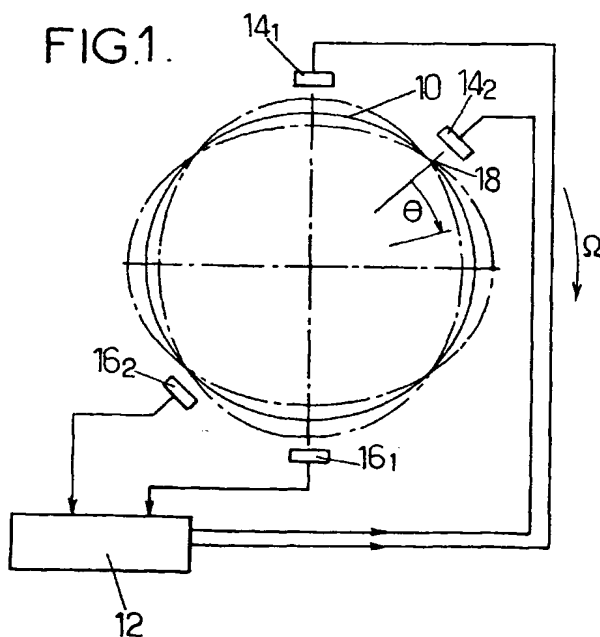
• **Renault, Alain**
95300 Pontoise (FR)
• **Bienaimé, Francis**
95120 Ermont (FR)

(74) Mandataire: **Fort, Jacques**
CABINET PLASSERAUD
84, rue d'Amsterdam
75440 Paris Cedex 09 (FR)

(54) **Appareil de mesure de rotation**

(57) L'appareil de mesure de rotation comprend un résonateur mécanique capable de présenter un mode de vibration plan, stationnaire et radial par rapport à un axe, d'ordre 2 au moins, des capteurs sensibles (16₁, 16₂) l'élongation radiale dudit élément dans deux directions mutuellement orthogonales dans un référentiel du mode et des transducteurs (14₁, 14₂) d'application de

force dans lesdites directions mutuellement orthogonales. Des moyens électroniques (12) d'entretien de la vibration reçoivent les signaux provenant des capteurs et émettent des signaux d'alimentation des transducteurs d'application de force, à la fréquence de résonance du résonateur. Ces moyens électroniques maintiennent l'amplitude de vibration à une valeur constante et annulent la composante en quadrature de la vibration.



Description

La présente invention concerne de façon générale les appareils de mesure de rotation comprenant :

- un élément mécanique, appelé résonateur, possédant une symétrie axiale, dont l'axe est l'axe sensible de l'appareil, capable de vibrer sur une résonance mécanique,
- des capteurs sensibles à l'élongation de la vibration dudit élément dans au moins deux directions particulières,
- et des transducteurs d'application de forces au résonateur dans lesdites directions particulières, servant notamment au contrôle de la vibration.

Il existe déjà de nombreux appareils à résonateurs de ce type, dits vibrants ; ils utilisent l'accélération de Coriolis, qui agit sur un élément en vibration lorsque ce corps tourne. L'accélération de Coriolis est dirigée orthogonalement à la vitesse de rotation et à la direction de vibration, et elle tend à modifier l'orientation du réseau de vibration proportionnellement à la rotation dudit élément autour de l'axe sensible.

De tels appareils utilisent des résonateurs qui peuvent prendre des formes notablement différentes les uns des autres. Le résonateur peut avoir une constitution annulaire ; il peut être constitué par une plaque circulaire ou carrée ; il peut avoir une forme de bol fixé par son fond, les capteurs et les transducteurs étant alors répartis autour du bord du bol ; il peut également comporter un jeu de quatre poutres vibrantes réparties aux angles d'un carré (EP-A-0 578 519).

On sait que, dans le cas d'une résonance mécanique d'un résonateur quelconque, il est possible de représenter analytiquement un champ de vibration dans une base ayant deux modes propres pour références. On peut alors décrire la vibration par le système d'équations suivant :

$$\begin{cases} \ddot{\eta}_1 + 2\xi_1 \dot{\eta}_1 + \omega_1^2 \eta_1 = 2\alpha_1 \Omega_{b/i} \dot{\eta}_2 + \frac{f_1}{m_1} \\ \ddot{\eta}_2 + 2\xi_2 \dot{\eta}_2 + \omega_2^2 \eta_2 = -2\alpha_2 \Omega_{b/i} \dot{\eta}_1 + \frac{f_2}{m_2} \end{cases}$$

dont la solution est une description de la vibration.

Dans ces équations :

η_i (avec $i=1$ ou 2) :	coordonnées dans le plan des modes propres,
ξ_i :	coefficients d'amortissement modal réduit, m_i : masses modales,
ω_i :	pulsations propres,
α_1 :	coefficients de couplage gyroscopiques,
$\Omega_{b/i}$:	vitesse de rotation inertielle du résonateur,
f_i :	efforts généralisés.

On exploite ces relations en plaçant des transducteurs et des capteurs de façon que :

- les capteurs donnent les composantes des deux vibrations selon les axes η_1 et η_2 ,
- les transducteurs permettent d'appliquer les forces f_1 et f_2 selon les mêmes axes.

On observe que, mécaniquement, les axes η_1 et η_2 présentent un angle égal à $\pi/2n$, n étant un entier supérieur ou égal à un. Par exemple, pour un anneau se déformant en ellipse, $n=2$ et les deux ondes propres font un angle de $\pi/4 = 45^\circ$.

Le résonateur mécanique peut avoir des constitutions très variées. A titre d'exemple, la figure 1 montre un résonateur 10 qui peut notamment être en forme de disque ou de bol en un matériau tel que le résonateur ait de faibles pertes. Au repos, le résonateur est circulaire ou présente une structure qui mécaniquement est équivalente à un cercle comme cela est représenté en traits pleins sur la figure 1. Lorsque le résonateur vibre dans son mode d'ordre 2, il prend les deux formes extrêmes représentées, en traits mixtes et à échelle très agrandie, sur la figure 1, s'il est excité à sa fréquence de résonance par un circuit électronique 12 qui alimente deux transducteurs 14 placés à 45° l'un de l'autre. Dans la réalité, chaque transducteur 14 est alimenté en parallèle avec un transducteur placé en face et deux

transducteurs placés à 90°, non représentés pour plus de simplicité.

Le déplacement radial est mesuré, dans le cas décrit, aux mêmes emplacements angulaires que les transducteurs. Pour cela, deux couples par exemple de capteurs 16 (les liaisons d'un seul capteur étant seules représentées) permettent de mesurer l'amplitude de la vibration et fournissant au circuit électronique 12 des signaux de mesure. Le circuit est prévu pour alimenter les transducteurs de façon à maintenir une amplitude de vibration constante, comme on le verra plus loin.

Si le boîtier qui supporte le résonateur tourne dans le sens indiqué par la flèche Ω d'un angle déterminé, le champ de vibrations tend à se décaler, sous l'effet des forces de Coriolis, et par exemple le noeud de vibrations 18 se déplace, s'il n'est pas contrarié par une action du circuit électronique 12, et prend par exemple un angle θ à un instant t . Cet angle est proportionnel à la rotation subie par le boîtier, avec un rapport constant et inférieur ou égal à 1, suivant le type de résonateur.

Quelle que soit la nature du résonateur mécanique, dans la mesure où il présente un mode de vibration stationnaire, d'ordre 1 au moins, le déplacement d'un point M peut être représenté, dans un référentiel de modes η_1 , η_2 , par le diagramme de la figure 2. Le déplacement d'un point courant M peut être représenté sous la forme paramétrique donnée plus haut. Par la suite, on développera ces formules en utilisant les notations suivantes :

η_1 et η_2 :	axes du référentiel et coordonnées dans le référentiel,
ω	est la fréquence angulaire de vibration du résonateur,
Ω	est la vitesse de rotation du boîtier,
α	est un coefficient de forme, inférieur à 1.
f_1 et f_2 :	forces appliquées le long des axes η_1 et η_2 , destinées en premier lieu à compenser les pertes et à corriger l'anisotropie de fréquence et en second lieu à changer de mode de fonctionnement ou à corriger le fonctionnement en utilisant des modèles d'erreur mémorisés,
M :	point courant représentatif de l'état de vibration,
ω_1 et ω_2 :	fréquences angulaires des deux ondes progressives résultant de la décomposition de l'onde stationnaire à fréquence angulaire ω ,
θ :	inclinaison du grand axe de l'ellipse représentative de la vibration dans le plan des modes, dans des axes de référence η_1 et η_2 liés au boîtier du résonateur,
$\vec{\eta}$ ou \vec{R} :	vecteur représentatif du point courant M dans le repère η_1 , η_2 ,
2a et 2b :	grand et petit axes de l'ellipse représentative de la vibration,
VCO ₁ et VCO ₂ :	oscillateurs à commande par tension, fonctionnant aux fréquences ω_1 et ω_2 ,
\vec{R}_1 et \vec{R}_2 :	vecteurs, de modules respectifs r_1 et r_2 , tournant respectivement aux fréquences ω_1 et ω_2 ,
ft_1 et ft_2 :	forces tangentielles exercées sur le résonateur, pour entretenir les amplitudes en phase à une valeur constante,
fr_1 et fr_2 :	forces radiales exercées sur le résonateur, pour annuler les amplitudes en quadrature,
Ω :	vitesse de rotation du boîtier du résonateur,
Ω_p :	vitesse de précession, égale à $(\omega_1 - \omega_2)/2$,
C_p :	signal de commande de précession.

La figure 2 montre que la vitesse de rotation Ω du boîtier qui porte le résonateur a pour effet de faire tourner le champ de vibrations et, par exemple, de faire tourner d'un angle θ le grand axe 2a de l'ellipse représentant le mouvement du point. Pour un fonctionnement en gyroscope ; on déduit, d'une mesure de θ , l'angle dont a tourné le boîtier du résonateur en appliquant un facteur d'échelle α qui dépend du résonateur et de l'ordre du mode.

Sur la figure 2, on a représenté la vibration sous forme d'une ellipse ayant un grand axe de valeur 2a et un petit axe de valeur 2b. Les variations des coordonnées η_1 et η_2 d'un point courant M en fonction du temps peuvent s'écrire :

$$\eta_1 = a \cos \omega t \cdot \cos \theta - b \sin \omega t \cdot \sin \theta$$

$$\eta_2 = a \cos \omega t \cdot \sin \theta + b \sin \omega t \cdot \cos \theta$$

La composante de vibration d'amplitude b, souvent dénommée quadrature spatiale, provoque l'apparition de dérives parasites du champ de vibrations, qui dégradent la qualité des mesures lors du fonctionnement en gyroscope.

La présente invention vise notamment à fournir un appareil de mesure de rotation répondant mieux que ceux antérieurement aux exigences de la pratique, notamment en ce que les dérives parasites sont réduites par compensation.

Dans ce but, l'invention propose notamment un appareil caractérisé en ce que lesdits moyens électroniques sont

constitués de façon à maintenir l'amplitude de vibration à une valeur constante et à annuler la composante en quadrature de la vibration, c'est-à-dire la quadrature temporelle (et spatiale dans le plan des modes).

Tout gyroscope nécessite un calibrage de mesure des dérives parasites. A l'heure actuelle, ce calibrage est effectué périodiquement en laboratoire.

Un autre but de l'invention, qui peut être recherché et atteint indépendamment du premier, est de permettre la mesure du coefficient de forme et des dérives parasites du gyroscope, c'est-à-dire d'effectuer un calibrage in situ, avec une interruption minimale de l'utilisation. Dans ce but, l'invention propose un appareil dont les moyens électroniques comportent des moyens pour introduire dans la commande des transducteurs une composante déterminée de commande de précession. La connaissance de la commande de précession et la mesure de la vitesse de rotation du champ de vibration qui en résulte permet de calculer, pendant une courte interruption de l'utilisation normale du gyroscope, un modèle d'erreur dû à la dérive.

Il est également possible de reboucler la sortie du gyroscope, représentative de l'angle θ (figure 2) sur les moyens électroniques, de façon à constituer un gyromètre, ce qui permet de faire fonctionner à volonté le même appareil soit en gyroscope, soit en gyromètre.

Les caractéristiques ci-dessus ainsi que d'autres apparaîtront mieux à la lecture de la description qui suit de modes particuliers de réalisation, donnés à titre d'exemples non limitatifs. La description se réfère aux dessins qui l'accompagnent, dans lesquels :

- la figure 1, déjà mentionnée, montre un réseau d'ondes stationnaires provoquées dans un résonateur vibrant à périphérie circulaire au repos ;
- la figure 2 est une représentation de la vibration d'un point du résonateur de la figure 1, dans un référentiel lié au mode ;
- la figure 3 est un schéma de principe destiné à faire apparaître les différentes fonctions de l'appareil de mesure qu'autorise l'invention ;
- la figure 3A est un schéma montrant des paramètres de fonctionnement ;
- la figure 4 est un synoptique montrant une implémentation possible du schéma fonctionnel de la figure 3.

Les moyens électroniques dont la constitution de principe est montrée en figure 3 reçoivent des signaux d'entrée provenant de capteurs ayant par exemple la disposition montrée en figure 1. Ces capteurs fournissent des signaux modulés à la fréquence ω de vibration. Chaque signal de sortie peut être considéré comme ayant une composante en phase, c'est-à-dire x_1 pour un des capteurs 16₁, et une composante en quadrature, x_3 pour le même capteur 16₁, l'une et l'autre modulées à la fréquence ω ; et, de façon similaire, x_2 pour un des capteurs 16₂ et x_4 pour le même capteur 16₂.

L'exploitation de ces signaux exige qu'ils soient démodulés, ce qui implique d'extraire les composantes en phase et en quadrature des porteuses à fréquence ω provenant des deux capteurs 16. La branche des moyens électroniques destinée à fournir un signal de référence à fréquence ω contient un oscillateur commandé par tension 20 qui présentera une phase χ_0 , à laquelle on cherche à donner une valeur nulle, de façon que l'oscillateur constitue un invariant temporel indépendant de l'angle d'inclinaison θ .

Le signal de commande de l'oscillateur 20 est élaboré par une opération 22 de calcul de $x_3 \cos \theta + x_4 \sin \theta$, qui fournit une sortie représentative de $\sin \chi_0$. Cette opération peut s'effectuer sous forme analogique. L'angle θ est fourni par une autre branche des moyens, qui sera décrite plus loin. Le signal résultant de l'opération 22 est dérivé et amplifié en 24 avec un gain $G_F(p)$ et le signal de sortie C_F est appliqué à l'oscillateur de référence 20, à la sortie duquel on obtient un signal de référence en phase Φ et un signal en quadrature Q . Par la suite, on désignera par amplification toutes les opérations de la forme $G(p)$, pour simplifier.

Les signaux Φ et Q ainsi obtenus sont utilisés pour effectuer une démodulation synchrone des signaux de sortie des capteurs 16.

Une branche d'entretien de la vibration stationnaire à une amplitude constante peut comporter, de façon classique, un organe ou une opération de calcul 26 permettant d'obtenir $a_0^2 - (x_1^2 + x_2^2)$, où a_0 est l'amplitude à maintenir. Le signal d'erreur obtenu en 26 est amplifié, avec un gain prédéterminé $G_{A(p)}$ de façon à obtenir un signal C_A de commande d'amplitude.

Conformément à un aspect de l'invention, le circuit électronique comporte des moyens d'annulation de la quadrature temporelle b (figure 2). Pour cela, les moyens électroniques comportent une branche de calcul d'un terme proportionnel à b . Cette branche comprend un élément ou une étape 30 de calcul de $x_3 \sin \theta - x_4 \cos \theta$. Le signal d'erreur $-b \cos \chi_0$ ainsi obtenu est amplifié en 32 avec un gain $G_Q(p)$ de façon à fournir une composante de commande C_Q .

Les moyens électroniques de la figure 3 comprennent également une branche de précession permettant de faire fonctionner le dispositif à volonté soit en gyroscope, soit en gyromètre. Cette branche reçoit en entrée la valeur de consigne θ_c de l'angle θ , à maintenir entre l'axe d'oscillation (c'est-à-dire l'axe de l'ellipse de la figure 2) et l'axe de détection η_1 . Un soustracteur 34 fournit un signal de sortie égal à $\theta_c - \theta$, qui constitue un signal d'erreur soumis à une amplification de gain $G_p(p)$ en 36.

Les signaux amplifiés en 28, 32 et 36 sont utilisés pour élaborer les signaux appliqués aux transducteurs 14. Chacun des signaux envoyé aux transducteurs résulte d'un traitement trigonométrique et d'une remodulation.

Les composantes destinées à annuler la quadrature temporelle sont remodulées par la composante en phase ϕ à fréquence ω . Le signal C_Q de sortie de 32 est multiplié en 40 par $\sin\theta$, modulé par la porteuse en phase ϕ et appliqué à un additionneur 42₁ qui alimente le transducteur 14₁. Le signal C_Q est multiplié par $-\cos\theta$ en 44, remodulé et appliqué à un additionneur 42₂ d'alimentation du transducteur 14₂.

Le maintien de l'amplitude d'oscillation à une valeur constante et la précession forcée résultent d'une combinaison des signaux sortant de 28 et 36.

Le signal appliqué à l'additionneur 42₁, après remodulation par la porteuse en quadrature Q, est obtenu par calcul de :

$$C_A \cos\theta - C_P \sin\theta$$

Le signal appliqué à l'additionneur 42₂ après modulation par la porteuse en quadrature Q est élaboré par calcul de :

$$C_A \sin\theta + C_P \cos\theta$$

Ces formules résultent des orientations relatives des composantes C_A , C_P et C_Q telles qu'indiquées sur la figure 3A.

Le schéma de la figure 3 montre encore une commande manuelle de précession 45 permettant d'ajouter, au signal de commande des transducteurs 14₁ et 14₂, une composante variable et connue, destinée à provoquer une précession de la vibration. Cette composante est ajoutée à la sortie amplifiée 36, dans un additionneur 46. La commande de précession et la modification de θ qui en résulte sont prises en compte dans un calculateur pour réaliser un calibrage.

La branche de calcul de θ comporte un élément ou une étape de calcul de $x_2 \cos\theta - x_1 \sin\theta$, qui fournit en sortie une grandeur représentative de l'écart entre la position réelle du grand axe de l'ellipse et la position estimée. Ce signal de sortie est amplifié avec un gain $G_T(p)$ en 48 et la sortie représente la vitesse de rotation $\dot{\theta}$, à partir de laquelle on peut obtenir, par intégration en 50, l'angle θ lui-même.

Des valeurs θ et $\dot{\theta}$ il est possible de passer aux vitesses de rotation à mesurer par multiplication par $-1/\alpha$, en 52.

L'ensemble des opérations qui viennent d'être décrites peuvent être effectuées à l'aide d'un micro-contrôleur de type couramment disponible dans le commerce et de quelques éléments supplémentaires. Ce micro-contrôleur permet notamment d'effectuer un bouclage permettant un fonctionnement en gyromètre et une calibration de l'appareil sans adjonction d'éléments de circuit externes autres qu'un convertisseur analogique-numérique et d'un convertisseur numérique-analogique.

Sur la figure 4, où les éléments correspondant à ceux de la figure 3 sont désignés par le même numéro de référence, les éléments nécessaires à la mise en oeuvre de l'invention appartiennent à un interface 48 interposé entre l'ensemble constitué par le résonateur et les moyens de détection et d'excitation d'une part, un micro-contrôleur 50 permettant d'effectuer l'ensemble des calculs, d'autre part. Les signaux démodulés, x_1 , x_2 , x_3 , x_4 sont soumis en 52 à un calcul de la vibration ou des vibrations permettant d'obtenir la valeur réelle θ de la déviation angulaire et les composantes en phase Φ et en quadrature Q de la vibration. Ces valeurs sont fournies aux moyens de correction de vibration 54 dont le fonctionnement sera différent suivant que le fonctionnement est en mode gyroscope, c'est-à-dire en laissant θ évoluer librement, pour une valeur de consigne θ_c fixe, à laquelle doit être maintenue la valeur θ réelle ; en mode gyromètre ou en mode calibration (qui implique de faire varier dans le temps la valeur θ_c , par exemple de 0° à 360° , puis de 360° à 0° pour établir un modèle d'erreur).

Des moyens de sélection de mode 56 appartenant à l'interface permettent de faire le choix entre les trois modes de fonctionnement.

Dans le cas d'un fonctionnement en mode de calibration, les moyens 56 provoquent l'émission, par un générateur 58, d'une variation temporelle de l'angle de consigne θ_c de 0 à 360° , puis un retour à 0° pour reprendre un fonctionnement normal. Les valeurs successives de θ_c et les valeurs correspondantes de θ à chaque instant sont envoyées à des moyens 60 de calcul d'un modèle d'erreur, qui est ensuite mémorisé en 62.

Les valeurs de θ nécessaires à l'élaboration du modèle d'erreur sont obtenues à partir de 54, éventuellement par l'intermédiaire de moyens 64 de correction spécifique au fonctionnement gyrométrique. Le modèle d'erreur est également utilisé éventuellement en 66 pour corriger les erreurs spécifiques au fonctionnement en mode gyroscopique.

Eventuellement, plusieurs calibrages à des températures différentes peuvent être utilisés et mémorisés. Dans ce cas, une information de température est fournie aux moyens de calcul de correction.

Revendications

1. Appareil de mesure de rotation comprenant : un élément mécanique, appelé résonateur, possédant une symétrie axiale, dont l'axe est l'axe sensible de l'appareil, capable de vibrer sur une résonance mécanique, des capteurs sensibles à l'élongation de la vibration dudit élément dans au moins deux directions particulières, des transducteurs d'application de forces au résonateur dans lesdites directions particulières, servant notamment au contrôle de la vibration, et des moyens électroniques d'entretien de la vibration, recevant les signaux provenant des capteurs et émettant des signaux d'alimentation desdits transducteurs d'application de force, à la fréquence de résonance du résonateur,
caractérisé en ce que les moyens électroniques sont constitués de façon à maintenir l'amplitude de vibration à une valeur constante et à annuler la composante en quadrature temporelle de la vibration et comportent des moyens pour introduire dans la commande des transducteurs une composante déterminée de commande de précession et des moyens de calcul d'erreur à partir de la connaissance de la commande de précession et de la mesure de la vitesse de rotation du champ de vibration qui en résulte.
2. Appareil selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens électroniques comportent une branche de calcul d'un terme proportionnel à ladite composante en quadrature à partir de la composante des signaux fournis par deux capteurs en quadrature dans le référentiel des modes, démodulés par la composante en quadrature d'une porteuse à la fréquence de résonance ω et des moyens pour élaborer un signal de correction appliqué aux transducteurs après multiplication par une fonction trigonométrique de l'angle θ entre la direction d'oscillation et l'axe commun d'un des transducteurs et d'un des capteurs, et après remodulation par la composante en quadrature avec la vitesse de la vibration ou en phase avec le déplacement en vibration, en addition aux signaux de maintien de l'amplitude.
3. Appareil selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que les moyens électroniques comprennent une branche d'entretien de la vibration stationnaire à une amplitude constante qui peut comporter, de façon classique, un organe ou une opération de calcul 26 permettant d'obtenir un signal d'erreur $a_0^2 - (x_1^2 + x_2^2)$, où a_0 est l'amplitude à maintenir et x_1 et x_2 sont les composantes des signaux fournis par les deux capteurs en quadrature, démodulés par la composante en phase de la porteuse, et des moyens pour élaborer un signal d'entretien d'amplitude appliqué aux transducteurs, obtenu à partir dudit signal d'erreur et des fonctions trigonométriques de l'angle θ , une remodulation par la composante en quadrature de la porteuse.
4. Appareil selon la revendication 2 ou 3, caractérisé en ce que lesdits moyens comprennent également une branche de précession permettant de faire fonctionner le dispositif en gyromètre, recevant en entrée une valeur de consigne θ_c de l'angle θ , ayant des moyens de mesure de $\theta_c - \theta$, des moyens de multiplication par des fonctions trigonométriques de l'angle θ et d'addition à des termes d'entretien de l'amplitude avant remodulation.
5. Appareil selon la revendication 4, caractérisé par des moyens pour ajouter, au terme représentatif de $\theta_c - \theta$, une rampe de variation progressive de θ_c .
6. Appareil selon la revendication 5, caractérisé en ce que la variation est une rampe progressive de 0° à 360° , puis de 360° à 0° .

FIG.1.

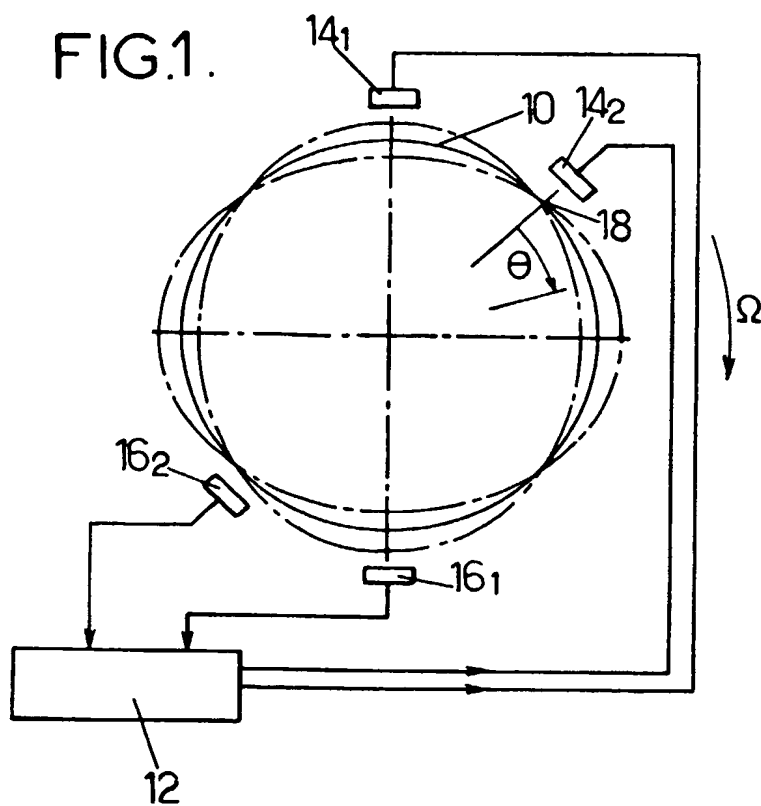


FIG.2.

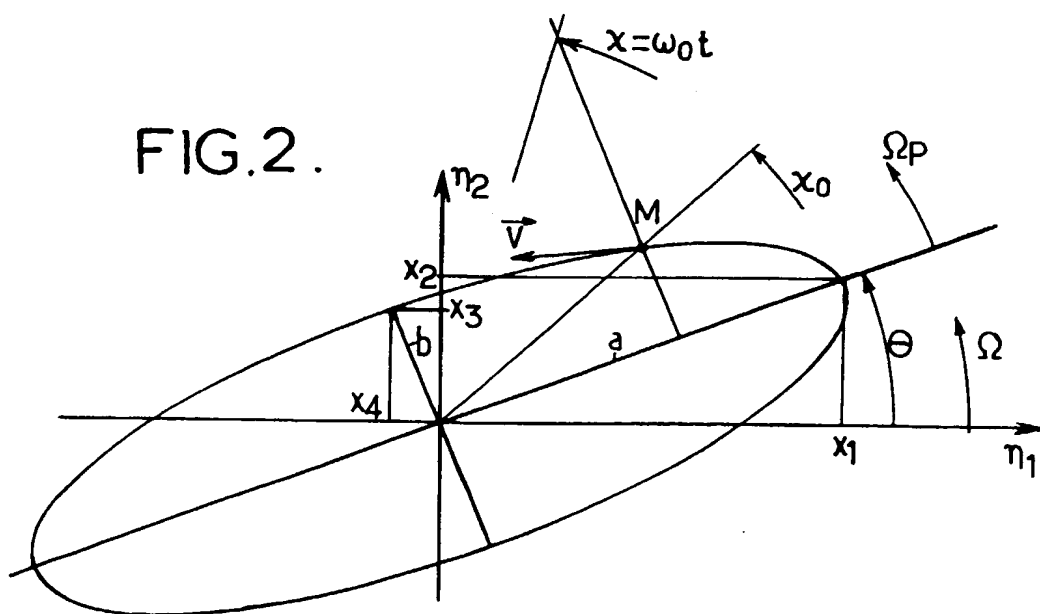
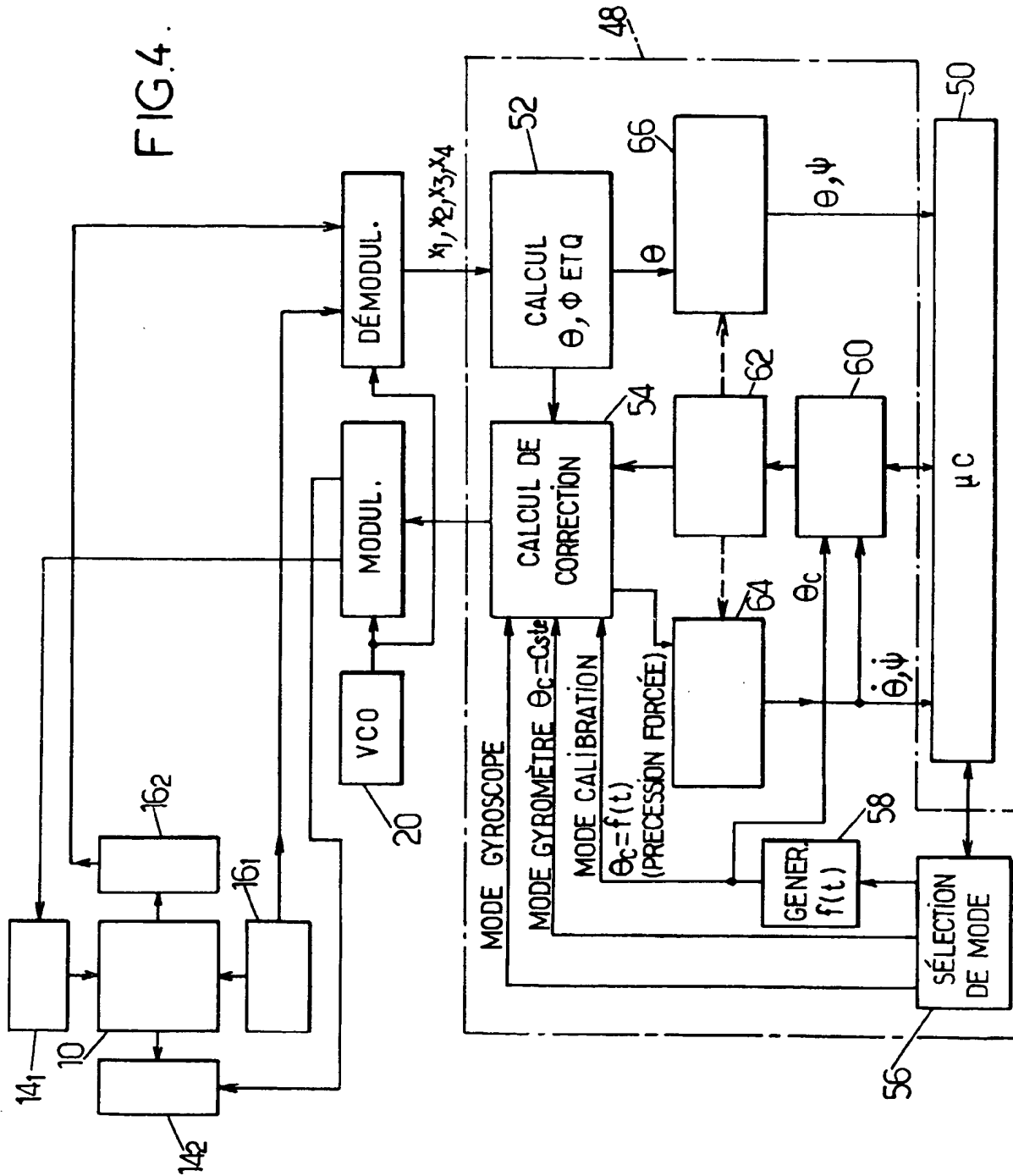




FIG. 3A.

FIG.4.





Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande

EP 97 40 1149

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.Cl.6)
A	US 3 992 952 A (HUTTON MAURICE F ET AL) 23 Novembre 1976 * colonne 5, ligne 35 - colonne 6, ligne 36; figures 1,3 *	1	G01C19/56
A	US 4 079 630 A (FRIEDLAND BERNARD ET AL) 21 Mars 1978 * colonne 1, ligne 30 - ligne 47 *	1	
A	EP 0 592 171 A (BRITISH AEROSPACE) 13 Avril 1994 * abrégé; revendication 1 *	1	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.6)
			G01C
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 13 Août 1997	Examinateur Hunt, J
<p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant</p>			

EPO FORM 1503 03.82 (P46C03)